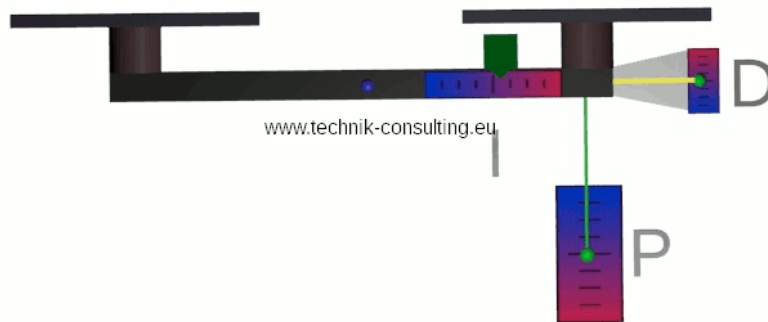


Analyse	Optimierung	Lösungen	Projekte	Weiterbildung	Ingenieurbüro	Wissenschaft	Über uns
---------	--------------------	----------	----------	---------------	---------------	--------------	----------

□ PID-Regler eines Quadrocopters richtig einstellen



Guter Schwebeflug und schlechter Schwebeflug

Quadrocopter fliegen nicht **eigenstabil**, sondern benötigen eine Fluglageregelung. Ist diese **gut eingestellt**, fliegt das Modell stabil, ansonsten nicht. Wie Sie die PID-Regler einstellen können, wird an einem Quadrocopter demonstriert. Andere Flugmodelle können Sie analog einstellen.

Alle Angaben ohne Gewähr und unter Ausschluss jeglicher Haftung.

Die Merkmale eines guten Schwebeflugs sind:

1. Das Modell ist stabil in der Luft und macht den Eindruck als wäre es durch nichts aus der Ruhe zu bringen.
2. Bei Störungen wie z.B. durch eine Windböe reagiert das Modell so, dass nur minimale Auslenkungen erkennbar sind.
3. Lange Flugzeit bzw. geringer Stromverbrauch der Motoren. Punkt 1 und 2 kann auch mit einer mittelmäßigen Regelung erreicht werden, welche die Motoren zu stark regelt und entsprechend viel Energie benötigt.

Die oben genannten Punkte sind je nach **Einsatzzweck** entsprechend zu **gewichten**. Ein Kunstflieger wird mehr Wert auf Punkt 1 und 2 legen als jemand der einen Schwebeflug-**Rekord** brechen möchte. Die PID-Werte hängen somit auch mit dem Anwendungsfall des Copters zusammen.

Der PID-Regler im Quadrocopter

Für die Fluglageregelung bei Coptern wird gerne eine PID-Regelung verwendet. Dies ist ein Programm im Flugmodell, welches die Sensordaten auswertet und die Motoren entsprechend über Motorregler ansteuert. PID steht für: proportional-integral-derivative und wird später erklärt.

Copter festhalten



Damit Sie Ihr Modell gefahrlos einstellen können, sollten Sie die Möglichkeit haben den Quadrocopter mit beiden Händen sicher von unten zu halten. Bei kleinen Modellen genügt auch eine Hand. Sie sollten das Modell auf jeden Fall von unten und über dem Kopf halten. Im Notfall kann das Modell einfach losgelassen werden. Die Verletzungsgefahr durch die Propeller ist bei einem in dieser Position gehaltenen Modell, welches außer Kontrolle gerät, geringer. Bei den Tests ist eine zweite Person hilfreich, welche die Fernsteuerung bedient. Es muss nur der Gashebel betätigt werden und bei Testende oder Problemen schnell zurückgenommen werden.

Das Modell wird bei den Tests bewusst an die Stabilitäts - Grenze gebracht. Das Flugmodell wird dadurch nicht beschädigt, sofern es gut gehalten wird.

Einstellen der PID-Regler

Als erstes setzen Sie alle Reglerparameter auf null, was einem Ausschalten der Regler gleichkommt. Nacheinander stellen Sie die P, D und I Parameter ein. Notieren Sie sich die maximalen Werte, welche bei den Tests ermittelt werden. Diese Werte dürfen Sie nie überschreiten. Die ermittelten Werte sind eine Basis für weitere Optimierungen.

Ermittlung P-Anteil und was passiert bei falsch eingestellten Werten

Der P-Regler ist der wichtigste Regler des Flugmodells. Wie der Name vermuten lässt, erfolgt die Regelung proportional zu den Sensordaten. Betrachten Sie zum besseren Verständnis das folgende Modell.



Hier sehen Sie schematisch einen Quadrocopter von der Seite. Mit den Propellern, dem Motor und dem Rahmen. Der P-Regler verändert die Motorleistung proportional zum Neigungswinkel. Eine Erhöhung der Motorleistung des rechten Motors entspricht der Farbe rot auf der Skala und eine Verringerung der Motorleistung der Farbe blau auf der Skala. Wie die Motorleistung verändert wird, können Sie an dem grünen Punkt erkennen. Der P-Wert des Reglers entspricht der Stärke der Veränderung des rechten Motors. Neigt sich das Modell nach rechts, wird die Motorleistung des rechten Motors erhöht.

Ist der P-Wert zu gering, kann das Modell keine stabile Fluglage halten, da der Regler nicht stark genug eingreift. Das Modell fliegt instabil. Am Motorengeräusch können Sie eine träge Regelung heraushören.

Ist der P-Wert zu hoch, oszilliert das Modell, da die Motoren bei kleinen Lageänderungen maximal gegensteuern. Im Extremfall schalten die Motoren zwischen Stillstand und maximaler Drehzahl viele Male pro Sekunde hin und her. Das Modell ist auch hier instabil und nicht mehr steuerbar. Ein Absturz ist die Folge.

Um einen guten P-Wert zu ermitteln, erhöhen Sie diesen schrittweise, bis das in der Hand gehaltene Modell anfängt zu oszillieren. Danach setzen Sie diesen Wert auf etwa 50%. Das Modell wird dann auf Fluglageänderungen entsprechend stark reagieren. Stellen Sie den P-Wert lieber zu niedrig an, als zu hoch. Ein zu hoher P-Wert (=oszillieren) führt zum Absturz des Copters. Einen Copter mit zu niedrig eingestelltem P- Regler können Sie meistens noch halbwegs landen.

Ermittlung D-Anteil und was passiert bei falsch eingestellten Werten

Der D-Wert ist für schnelle Korrekturen notwendig. Stellen Sie sich eine Windböe vor. Das Modell wird dadurch schnell gedreht. Der P-Regler wird jedoch erst bei größeren Auslenkungen genügend Leistung freisetzen um das Modell wieder zurück zu holen. Der D-Regler reagiert nur auf Änderungen der Sensordaten. Je schneller sich die Sensordaten verändern, um so stärker greift dieser Regler ein.

Zur **Veranschaulichung** betrachten wir wieder unser Modell. Stellen Sie sich den D-Regler als flexible Stange (gelb in der Animation) mit einem kleinen Gewicht (grüner Punkt in der Animation) am Ende vor. Neigt sich das Modell nach links, spricht der Regler an und verringert die Motorleistung des rechten Motors. Behalten Sie das kleine Gewicht an der Skala im Auge. Der D-Wert des Reglers entspricht der Stärke der Veränderung.



Ist der D-Wert zu gering, reagiert das Modell bei schnellen Änderungen nicht. Ist der D-Wert zu hoch, fängt das Modell an schnell und mit kleiner Amplitude zu oszillieren.

Erhöhen Sie den D-Wert schrittweise, bis das Modell anfängt schnell und mit kleiner Amplitude zu oszillieren. In diesem Moment ist die Verstärkung zu hoch und es werden auch Störsignale verstärkt. Am Motorengeräusch können Sie eine Art „Zwitschern“ heraushören. Dies kostet viel Akkuenergie und verringert die Flugzeit drastisch.

Setzen Sie den D-Wert auf 50% des ermittelten Grenzwertes.

Ermittlung I-Anteil und was passiert bei falsch eingestellten Werten

Der I-Regler verändert die Motorleistung kontinuierlich in Abhängigkeit des Auslenkwinkels und der Zeit. Der I-Anteil ist für Korrekturen notwendig, bei denen, trotz optimal eingestellter P und D Regler, das Flugmodell nicht gerade in der Luft schwebt. Typisch hierfür ist ein nicht optimaler Schwerpunkt des Modells oder aerodynamische Einflüsse bei schnellen Flügen.



Um die Wirkung dieses Reglers zu veranschaulichen, betrachten Sie wieder unser Modell. Der I-Regler wird durch das kleine grüne Gewicht (links neben dem rechten Motor) über der Skala dargestellt. Dieses Gewicht kann auf der Skala gleiten. Wenn das Modell z.B. aufgrund eines Zusatzgewichtes unten am rechten Motor sich nach rechts neigt, würde bei dem P und D-Regler eine bleibende Schiefelage bestehen bleiben. Der I-Regler gleicht diese Schiefelage langsam aus, indem der rechte Motor in der Leistung erhöht wird, bis das Flugmodell wieder waagerecht ist. Beachten Sie, dass dazu der I-Regler den rechten Motor mit einer höheren Leistung betreibt, da das grüne Gewicht in den roten Bereich rutscht. Wie stark die Motorleistung durch den I-Regler verändert wird bestimmt der I-Parameter. Dieser Wert sollte normalerweise nahe Null bleiben.

Ist der I-Wert zu hoch eingestellt, beginnt das Modell zu oszillieren, ähnlich wie bei einem zu hoch eingestelltem P-Wert. Lassen Sie den I-Wert möglichst klein.

Gedächtnisstütze für die PID-Regelung

Über die Regler können folgende Aussagen gemacht werden:

Regler	Beschreibung	Wirkung
P-Regler	Wirkt proportional zum Sensorsignal.	In der Gegenwart.
I-Regler	Verändert fortlaufend die Leistung, je nach Abweichung und verstrichener Zeit.	Bezieht Störungen aus der Vergangenheit (z.B. Zusatzgewicht) mit ein.
D-Regler	Wird nur bei schnellen Änderungen aktiv.	Wirkt in die Zukunft und versucht bei schnellen Änderungen "vorausschauend" zu reagieren.

Gut eingestellte Regler

Wenn alle drei Regler in Betrieb sind, fliegt das Modell **stabil**, auch bei Störungen. Das hier angegebene Verfahren stellt die Regler so ein, dass das Modell in der Luft bleibt. Die 50% Regel (=50% vom Maximalwert) führt bei den meisten Flugmodellen zu einem guten ersten Ergebnis, hängt jedoch von vielen Faktoren ab. Seien Sie immer vorsichtig mit neu eingestellten Reglern und fliegen Sie erst ein paar langsame Runden knapp über dem Boden. Sie kennen gleichzeitig auch die Grenzen der Regler, welche Sie nie überschreiten dürfen. Bleiben Sie immer mit ausreichender Reserve unter den Grenzwerten. Ansonsten kann bereits ein Flugakku mit anderem Gewicht das Modell instabil machen.

Die Grenzen sollten Sie neu ermitteln, wenn:

- Das Modell umfassend geändert wurde (z.B. Kabelquerschnitte, geänderte Massenverteilung, Ausleger)
- Andere Motoren, Regler oder Luftschrauben eingesetzt werden.
- Andere Flugakkus (Spannung, Gewicht, Innenwiderstand)

Beachten Sie auch, dass sich die oben ermittelten Grenzen im Flug etwas verschieben, da

- die Akkuspannung sinkt, wodurch die Motoren auf die Regelung etwas schwächer ansprechen.
- Bei schnelleren Flügen ändert sich der Arbeitsbereich der Propeller. Die Motoren drehen insgesamt schneller.
- Aerodynamische Verhältnisse beeinflussen das Regelverhalten im Flug. Ein Modell welches wie ein Segel wirkt beeinflusst die Grenze im Flug stärker.

Bleiben Sie deshalb immer mit Reserve unter den Grenzwerten der PID-Regler.

Haben Sie die oben genannten Schritte durchgeführt, bedeutet dies nicht, dass die Regler schon optimal arbeiten. Weitere Optimierungen müssen durch Beobachtung im Flug gemacht werden.

Optimierung im Flug

Ein paar Regeln für die Optimierung im Flug:

Modell **reagiert träge** und schwebt schlecht bzw. instabil

P-Wert rauf und D-Wert runter evtl. auch I-Wert runter. Der P-Wert darf dabei keinesfalls über der oben ermittelten Schwelle liegen.

Beim Schwebeflug **driftet das Modell** ab

I-Wert und evtl. P-Wert erhöhen.

Bei schnellen Flügen beginnt das Modell **langsam zu oszillieren**

I-Wert zu hoch oder zu niedrig – je nach Modell.

Modell **oszilliert leicht bei Störungen** (z.B. anstupsen oder Windböe)

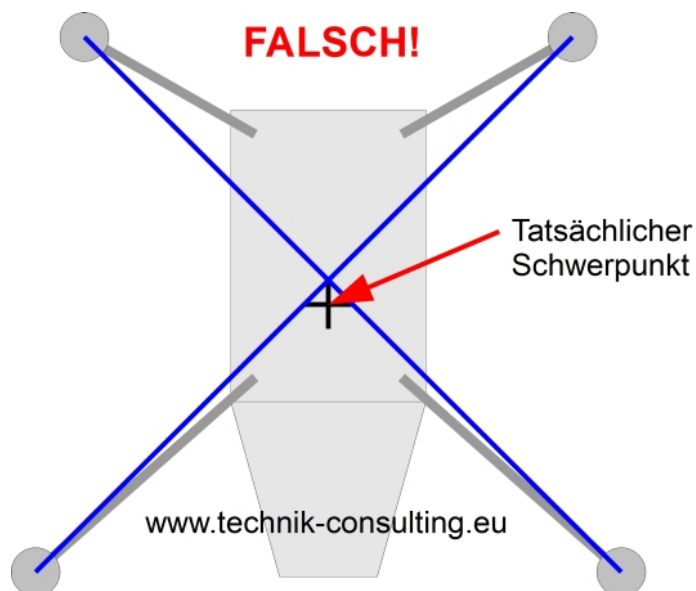
D-Wert runter

Modell **reagiert zu langsam auf Störungen** (z.B. anstupsen oder Windböe)

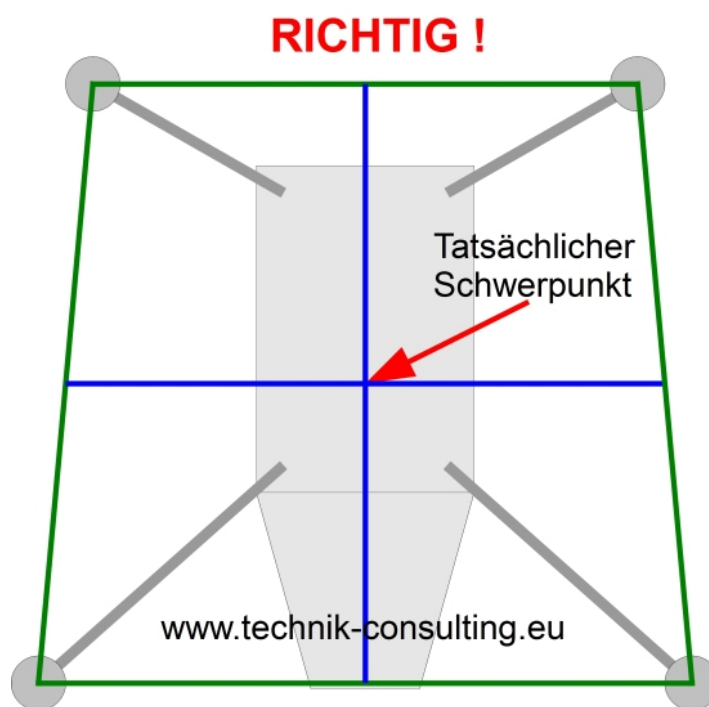
D-Wert und evtl. P-Wert erhöhen.

Copter Schwerpunkt ermitteln

Wenn Ihr Flugmodell **nicht stabil** zu fliegen ist, sollten Sie den Schwerpunkt überprüfen. Je nach Modell und Regelung kann ein schlechter Modellschwerpunkt das Modell instabil werden lassen. Der Schwerpunkt befindet sich genau in der Mitte zwischen den Motoren. Manchmal wird der Schwerpunkt mit der „Diagonalmethode“ ermittelt. Diese liefert jedoch nicht bei allen Modellen ein brauchbares Ergebnis. Bei der „Diagonalmethode“ werden einfach die Diagonalen der Motoren mit z.B. einer Schnur (blau im Bild) dargestellt. Der Schnittpunkt soll dann der Modellschwerpunkt sein. Dies stimmt leider nicht immer, wie im Bild zu sehen. Das schwarze Kreuz befindet sich genau mittig zwischen den Motoren und ist somit der Soll-Schwerpunkt.



Besser ist es eine Schnur außen (grün im Bild) um die Motorachsen zu spannen. Dann mit einem Meterstab die Länge jeder Außenseite ausmessen, halbieren und eine Markierung an der Schnur anbringen. Werden diese Markierungen zu einem Kreuz verbunden (blau im Bild), ist der Schnittpunkt der tatsächliche Schwerpunkt, den das Modell haben sollte.



Überprüfen Sie den Schwerpunkt in einer Achse, indem Sie das flugfertige Modell auf zwei Fingern ausbalancieren. Danach prüfen Sie die andere Achse. Verschieben Sie notfalls Komponenten im Modell wie beispielsweise den Akku, um den Schwerpunkt optimal einzustellen

Bei weiteren Fragen, **sprechen Sie mit uns.**

Autor: Dirk Brunner